

*In the context of its current popularity Bionics is often depicted as a promising approach to design more efficient and sustainable technologies by just copying nature's solutions. In the present article I am investigating the epistemology of Bionics in regard to its historical roots in Cybernetics and the military-industrial-academic complex of the 1960s. The paper argues that the early actors of Bionics were well aware of their discipline's epistemic constraints and the antagonism between mimesis and abstraction. In fact, as a close look at the research practice at Heinz von Foerster's Biological Computer Laboratory reveals, the imitation of nature often involved a great deal of tinkering, a little bit of patching up and sometimes even a hint of trickery.*

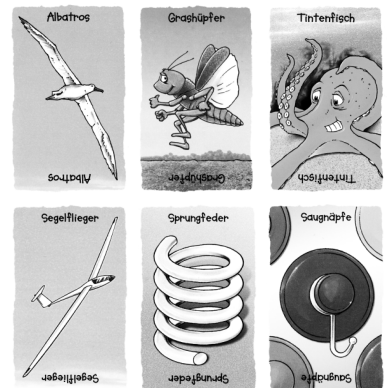
1 / Spielanleitung zu: *Bionik. Natur macht erfinderisch*, Ravensburger Spielverlag, 2000.

Jan Müggenburg, Lebende Prototypen und lebhafte Artefakte. Die (Un-) Gewissheiten der Bionik

## 1 Ein Vorspiel

„Ziehst du auf ein Feld mit dem Auge, suchst du in deinen Technikkarten<sup>1</sup> nach Gegenständen, die von der Form oder Funktion her zu einer der vier aufgedeckten Naturkarten passen. Wenn also zum Beispiel eine Pilzkappe auf einer der Naturkarten abgebildet ist, dann passt der Regenschirm sehr gut dazu. Du zeigst nun den anderen die passende Technikkarte, und musst gut begründen, welchen Zusammenhang es zwischen der aufgedeckten Naturkarte und der gewählten Technikkarte gibt. Wenn die Mitspieler mit der Begründung einverstanden sind, darfst du einen Bionikchip vom Spielplan nehmen und auf ein leeres Forschungsfeld auf deiner Erfinderkarte legen.“<sup>1</sup>

Wenn ein Forschungsansatz sogar die Familiensphäre erobert und in die heile Welt des Brettspielabends vordringt, muss man wohl von einer (zumindest populärwissenschaftlichen) Konjunktur sprechen. Das Ravensburger Gesellschaftsspiel *Bionik. Natur macht erfinderisch*, das in Zusammenarbeit mit dem deutschen Biologen Werner Nachtigall entworfen wurde, soll die bekanntlich generationenübergreifende Zielgruppe des Verlags (im Alter von 9–99 Jahren) an das Thema Bionik heranzuführen. Es möchte über Formen und Funktionen aufklären, welche der moderne Mensch von der



<sup>1</sup> *Bionik. Natur macht erfinderisch*, Ravensburger Spielverlag, 2000

2 / Bereits die Titel einer kleinen Auswahl jüngerer Publikationen aus dem deutschsprachigen Raum sprechen Bände: Birgit Kuhn / Jürgen Brück: *Bionik. Der Natur abgesehen*, Köln 2008; Kurt G. Büchel / Fredmund Malik: *Faszination Bionik. Die Intelligenz der Schöpfung*, München 2006; Zdenek Cerman / Wilhelm Barthlott / Jürgen Nieder: *Erfindungen der Natur. Was wir von Pflanzen und Tieren lernen können*, Hamburg / Berlin 2005; Werner Nachtigall: *Das große Buch der Bionik. Neue Techniken nach dem Vorbild der Natur*, München 2003.

3 / Alexander Moers / Marcus Peter / Markus Sailer: „Vier Milliarden Jahre Prototypen. Von der Neuentdeckung der Natur mit Hilfe der Technik“, in: Pascal Decker (Hg.), *Prototypen – Bionik und der Blick auf die Natur*, Berlin 2008, S. 5–9, hier S. 5.

Natur übernommen habe: „Was kann man in der Natur abgucken und es dann so nachmachen, damit es uns Menschen weiterhilft und das Leben erleichtert?“ Anhand eines Repertoires verschiedener technischer Objekte müssen die teilnehmenden Forscher ihren suchenden Blick über das Lösungsangebot der Natur wandern lassen, um die jeweiligen ‚Vorbilder‘ zu identifizieren. Dabei motiviert das Regelwerk des Spiels nicht nur zum bloßen Sehen von Ähnlichkeiten, sondern fordert den gedanklichen (und die anwesende *scientific community* überzeugenden) Nachvollzug der Analogie zwischen natürlicher und künstlicher Konstruktion: „Manchmal muss man aber erst ein bisschen tüfteln und nachdenken, bis man erkennt, welches Vorbild aus der Natur zu einem Ding oder Gegenstand passt.“

Im Zuge ihrer eigenen populärwissenschaftlichen Inszenierung<sup>2</sup> präsentiert sich die zeitgenössische Bionik also zunächst als eine pragmatisch vorgehende Wissenschaft des Hin- und Abschauens. In ihrem Selbstverständnis als „Schule des Sehens“<sup>3</sup> führt sie in ihren charakteristischen Gegenüberstellungen von Vor- und Abbildern die Erfolgsprinzipien vor, mit denen sowohl die Natur als auch der Ingenieur ‚Produkte‘ verwirklichen. Schwimmanzug, Sommerreifen und Klettverschluss erscheinen als serienreife Wiedergänger ihrer domestizierten Prototypen Haifischhaut, Katzenpfote und Klettenpflanze. Die in der Natur vorgefundenen Strukturen (Rillenstruktur, variable Kontaktflächen, Widerhaken) werden als jeweils ideale ‚Lösungen der Natur‘ für bestimmte Zwecke (Gleiten, Bremsen, Haften) adressiert. Die Herleitung technischer Anwendungen aus der Naturbeobachtung hat nachvollziehbare Gründe: Tragen derartige Analogieschlüsse doch zum positiven Bild einer unmittelbar und naturnah operierenden Ingenieurwissenschaft bei. Die natürlichen Lösungen fungieren als Prototypen, die von den Technikern lediglich nachgebaut werden müssen.

4 / Kuhn/Brück, Der Natur abgesehen, S. 6.

5 / Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt Philipp Aumann in seiner Diskussion des Verhältnisses von Bionik und Kybernetik in der BRD. Philipp Aumann: *Mode und Methode: die Kybernetik in der Bundesrepublik Deutschland*, Göttingen 2009, S. 307–314.

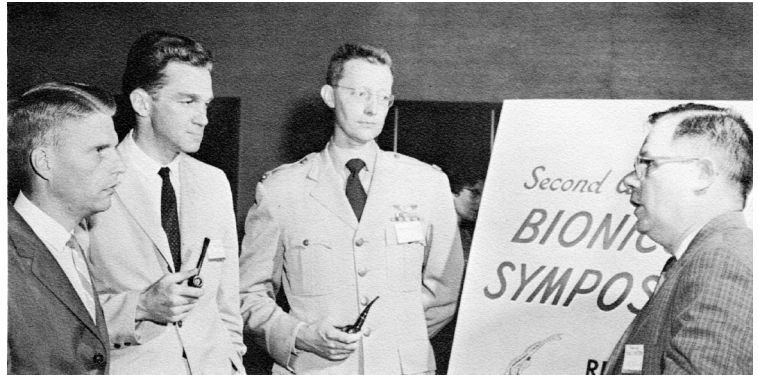
6 / Vgl. Claus Pias: „Zeit der Kybernetik. Eine Einstimmung“, in: ders. (Hg.), *Cybernetics-Kybernetik. The Macy-Conferences 1946–1953*, Bd. 2: Essays und Dokumente, Zürich / Berlin 2004, S. 22: „[Die Kybernetik] überspringt die Differenz von Seins- und Erkenntniskategorien und läßt die Frage des Wirklichen beim Konstruierbaren bewenden.“

7 / Vgl. Bruno Latour: „Drawing Things Together: Die Macht der unveränderlich mobilen Elemente“, in: Andréa Belliger / David J. Krieger (Hg.), *ANThology. Ein einführendes Handbuch zur Akteur-Netzwerk-Theorie*, Bielefeld 2006, S. 259–307, hier S. 279.

Während so einerseits das Bild eines geradlinigen Wissenstransfers von den Erfindungen der Natur zum technischen Produkt aufgerufen wird, geschieht dies selbst in der populärwissenschaftlichen Darstellung jedoch nie, ohne die Leistung des tüftelnden Bionikers hervorzuheben, der „mit den Mitteln, die ihm zur Verfügung stehen, arbeite[t], um die Entwicklungen, die speziell für ihn nützlich sind, voranzutreiben“. <sup>4</sup> Tatsächlich handelt es sich bei der Bionik seit ihrer kybernetischen Ausformulierung in der nordamerikanischen Forschungslandschaft um 1960 weniger um eine abschauende *Copypcat Science* mit direktem Zugriff auf natürliche Formen und Funktionen, als um eine *konstruktive* Wissenschaft, die ihren Zugang zur Welt stets als technisch realisiert reflektieren muss. So wurde die neue Wissenschaft zwar ins Leben gerufen, um das klassische Forschungsgebiet der Kybernetik – die Analyse und Synthese informationeller Prozesse in Natur bzw. Technik – einer umfassenderen Nachahmungsstrategie unterzuordnen, in der Praxis jedoch blieben inhaltliche und methodische Ausrichtung von Bionik und Kybernetik weitestgehend kongruent. <sup>5</sup> Dabei erbte die neue Wissenschaft von der Kybernetik neben ihren universalistischen und interdisziplinären Ambitionen vor allem deren „erkenntnistheoretische Zurückhaltung“. <sup>6</sup> Denn wie ein Blick auf die Forschungspraxis an Heinz von Foersterns *Biological Computer Laboratory* (BCL) offenbart, hatte die Bionik der frühen sechziger Jahre ein ausgeprägtes Bewusstsein für die eigene Verwicklung in die Immanenz ihrer medientechnischen Verfasstheit. Anstatt den Blaupausen der Natur einfach zu folgen, bewegten sich die Ingenieure am BCL vielmehr im Möglichkeitsraum von Improvisation und Kompromiss.

Bioniker, so muss man mit Bruno Latour also gar nicht erst aufdecken, schauen weniger in die Natur als auf ihre Werkbank und ihre Bildschirme. Ihre Werkzeuge sind elektrotechnische Modelle und numerische Simulationen. <sup>7</sup> Von dem Spannungsverhältnis, das durch dieses Aufeinandertreffen von Nachahmungsthese und kybernetischer Modellwissenschaft entsteht,

8 / Jack E. Steele: „How Do We Get There?“, in: Joan Robinette (Hg.), *Bionics Symposium. Living Prototypes. The Key To New Technology* (WADD Technical Report 60-600), Dayton 1960, S. 487-490, hier S. 487. Dieses und alle folgenden englischsprachigen Zitate wurden vom Autor ins Deutsche übersetzt.



2 Colonel Jack Steele (zweiter von rechts) auf dem zweiten Bionics-Symposium

soll im Folgenden die Rede sein. Die schlichte Annahme lautet, dass eben jener innere Antagonismus zwischen Mimesis und Abstraktion jedes bionische Projekt gleichzeitig zu einem epistemisch äußerst produktiven wie für Drittmittelgeber attraktiven Unterfangen macht.

## II Bionics

In den Jahren 1960, 1963 und 1966 veranstaltete die *Wright Air Development Division* (WADD) der *Wright-Patterson Airforce Base* in Dayton im Bundesstaat Ohio drei große Bionics-Symposien. Eine vierte Konferenz – die zweite in der Tagungsreihe – fand mit Unterstützung von *General Electric* im Sommer 1961 an der *Cornell University* in Ithaca, New York statt.<sup>2</sup> Auf dem ersten Treffen am 15. September 1960 erklärte der Tagungsvorsitzende Jack Steele, Ziel des neuen Forschungsansatzes sei die „Konstruktion künstlicher Apparate und Systeme, die für den naiven Betrachter lebendig erscheinen könnten. Sie sollen Prinzipien und Verfahren nutzen und Funktionen ausführen, die bislang nur in lebenden Systemen existierten“.<sup>8</sup> Eben dieser Verengung der Nachahmungsstra-



9 / Chris Hables Gray: „An Interview with Jack E. Steele“, in: ders. (Hg.), *The Cyborg Handbook*, New York 1995, S. 61–69, hier S. 62.

10 / Jack E. Steele: „Invitation to a Symposium on Bionics“, 05.05.1960, University of Illinois Archives, 11/6/17, B14/Bionics 1960/009.

11 / Steele, *How Do We Get There*, S. 488.

ategie auf operationale Verfahren verdankte die neue Forschungsstrategie ihren Namen. So hatte Steele bei seiner Wortschöpfung das griechische Wort *bion* für ‚lebende Einheit‘ ausgewählt und sich gegen den Begriff *morphon* als Hervorhebung der Form entschieden. Kombiniert mit der Silbe *-ics*, im Englischen „die übliche Endung für Bereiche intellektueller oder anderer Betätigung wie in *mathematics, physics, athletics, politics*“, bezeichnet *Bionics* im wörtlichen Sinne also eine Wissenschaft, „die bei der Lösung von Konstruktionsproblemen Prinzipien einsetzt, welche von lebenden Systemen abgeleitet sind“.<sup>9</sup> Dabei positionierte Steele die Bionik thematisch in unmittelbarer Nähe des ihm wohlvertrauten kybernetischen Forschungsparadigmas: Zwar seien grundsätzlich alle möglichen biologischen Prozesse von Interesse, besonders vielversprechend seien aus Sicht der Veranstalter aber vor allem „Anwendungen, die aus dem Feld der Informationsverarbeitung zu erwarten waren, also die Aneignung, Verarbeitung, Speicherung und Verwendung aller Arten von Daten“.<sup>10</sup>

Als wissenschaftlicher Mitarbeiter des *Aerospace Medical Research Laboratory* der WADD verstand der als Ingenieur und Neuropsychiater ausgebildete Jack Steele die Bionik als eine mögliche Antwort auf die aus seiner Sicht drohende Abkopplung der Biologie von militärischen Anwendungsperspektiven – insbesondere mit Blick auf zukünftige Computertechnologien. So sei es zunehmend üblich, dass Ingenieure Geräte entwickelten, die den Lebenswissenschaften zu neuen Erkenntnissen verhalfen. Umgekehrt sei ihm jedoch „kein einziger Biologe bekannt, der sich für die Anwendbarkeit biologischer Prinzipien im Maschinenbau interessiere“.<sup>11</sup> Auf der anderen Seite hätten die Entwickler moderner Computersysteme längst vergessen, dass Boole’sche Algebra und deren Adaption für elektronische Schaltungen durch den Mathematiker Claude Shannon ein Ergebnis der Analyse von Denk- und Sprachprozessen des menschlichen Gehirns darstellten und damit im Kern auf biologische Fragen antworteten. Steele versuchte, den

12 / Ebd., S. 488f.

13 / Bereits im Jahr 1953 hatte die US Airforce die Bell Labs mit der Konstruktion einer Variante des ersten auf der Basis der neuen Transistorentechnologie beruhenden Computers *TRADIC* beauftragt, welche kompakt genug sein sollte um sie in einem Flugzeug als sogenanntes *B&N System* (Bombing and Navigation System) einzusetzen. Ein erster Prototyp des *Flyable TRADIC* wurde der Airforce von den Bell Labs Ende der fünfziger Jahre übergeben. Louis C. Brown: „Flyable *TRADIC*: The First Airborne Transistorized Digital Computer“, in: *IEEE Annals of the History of Computing* 21/4 (1999), S. 55–61.

Tagungsteilnehmern diese missliche Situation in der Überzeichnung einer Art babylonischer Sprachverwirrung deutlich zu machen. So interessiere man sich in der Biologie ausschließlich für analytische Fragestellungen, während die synthetisch vorgehenden Ingenieurwissenschaften vor dem Mangel an Präzision und der Komplexität biologischer Problemstellungen zurückschreckten. Die Mathematik wiederum, die eigentlich als Mittlerin zwischen Analyse und Synthese fungieren müsse, verliere sich in reiner Mathematik: „Mathematiker bevorzugen Abstraktionen – je weniger sie haben, von dem sie abstrahieren müssen und je weiter sie sich von der Realität entfernen können, umso glücklicher sind sie.“<sup>12</sup> Eine zentrale Ursache für die Spezialisierung und das Auseinanderdriften der drei Disziplinen sah Steele in dem Umstand, dass interdisziplinäre Bemühungen einzelner Wissenschaftler in der Regel zu nachlassendem Ansehen in der eigenen Fachdisziplin führten. Der einzige Weg, solchen Integrationsbemühungen zu allgemeiner Akzeptanz zu verhelfen, führe über die Gründung eines neuen Forschungsbereiches, der genau diese Übersetzungsleistung abdecke und die Ausbildung einer neuen Generation von interdisziplinär forschenden Wissenschaftlern befördere. Ein Lötkolben und ein Skalpell, auf dem Tagungsplakat verbunden durch ein mathematisches Integral, sollten diesem Anspruch der Bionik Ausdruck verleihen.<sup>3</sup>

Hinter der allgemeinen Aufbruchsrhetorik Steeles verbarg sich die Erwartung der US Airforce, von einer möglichen Konvergenz der Lebens- und Technikwissenschaft ganz konkrete Lösungsvorschläge für aktuelle und höchst akute militärtechnische Probleme zu erhalten. So hatte man in den vorangegangenen Jahren eine zunehmende Beschäftigung der Biologie mit informations- bzw. kommunikationstheoretischen Problemen beobachtet, während man selbst mit der reibungslosen Integration zunehmend komplexerer informationsverarbeitender Systeme in die eigenen Militärflugzeuge zu kämpfen hatte.<sup>13</sup> In einer Grundsatzrede sprach der Leiter der

14 / John E. Keto: „Bionics. New Frontiers of Technology through Fusion of the Bio and Physio Disciplines“, in: Robinette, Bionics Symposium, S. 7–12, hier S. 9.

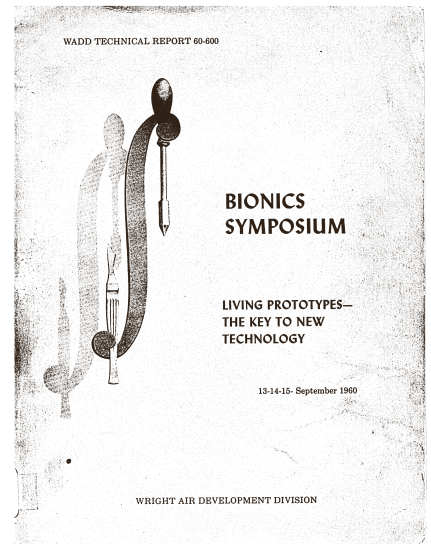
15 / Peter Galison: „The Many Faces of Big Science“, in: ders. (Hg.), *Big Science. The Growth of Large-Scale Research*, Stanford 1992, S. 1–17.

wissenschaftlichen Abteilung der *Wright-Patterson Airforce Base*, John Keto, über große Probleme bei der Datenverarbeitung und forderte neue Lösungen für eine effizientere Bewältigung des gestiegenen Datenaufkommens:

„Nehmen Sie zum Beispiel den Komplexitätszuwachs bei den Flugzeug-Waffensystemen. Für die B17, welche in den frühen vierziger Jahren erstmals zum Einsatz kam, benötigte man noch 2.000 elektronische Bauteile, um alle voll- oder partiell elektrisch basierten Funktionen zu realisieren. Die B52, die 1955 in Betrieb genommen wurde, benötigte insgesamt 50.000 elektronische Teile und die B58, welche gerade jetzt im Jahr 1960 in den Dienst gestellt wird, hat 97.000 elektronische Bauteile in ihrem Inneren. Die Probleme bezüglich des verfügbaren Raums, des Gewichts und der Stromversorgung liegen auf der Hand.“<sup>14</sup>

Angesichts der extremen Kompaktheit und des vergleichsweise geringen Gewichts und Energiebedarfs „lebender Prototypen“ versprach sich Keto von der Bionik einen Ausweg aus der geschilderten Komplexitätsfalle. Folglich interessierte sich der wissenschaftliche Zweig der US Airforce vor allem aus zwei Gründen für die Nachahmung der Natur als förderungswürdige Forschungsoption: Erstens erhoffte man sich offensichtlich eine direktere und ertragreichere Einbindung der Biologie in den wissenschaftlich-militärischen Komplex, wie im Falle der *Big Physics* spätestens seit dem Zweiten Weltkrieg;<sup>15</sup> und zweitens erwartete man von den Lebenswissenschaften qualitativ

### 3 Buchcover der Veröffentlichung der Protokolle des ersten Bionics-Symposiums



16 / Steele, *How Do We Get There*, S. 490.

17 / Michael Hagner: „Vom Aufstieg und Fall der Kybernetik als Universalwissenschaft“, in: ders. / Erich Hörl (Hg.), *Die Transformation des Humanen. Beiträge zur Kulturgeschichte der Kybernetik*, Frankfurt a.M. 2008, S. 38–71, hier S. 51.

neue Lösungsansätze, um den enormen technologischen Komplexitätszuwachs bewältigen zu können, den der großwissenschaftliche Apparat in den letzten Jahrzehnten verursacht hatte. Den Veranstaltern des ersten Bionics-Symposiums war unterdessen bewusst, dass noch ein großes Stück Überzeugungsarbeit zu leisten war, bevor die Bionik die erhoffte Neuorganisation der amerikanischen Wissenschaftslandschaft herbeiführen würde – und nichts weniger Visionäres hatte man im Jahr 1960 in Dayton im Sinn. Um institutionelle und finanzielle Unterstützung zu erhalten, so zeigte sich Jack Steele in seinen Abschlussworten überzeugt, sei neben der Ausbildung junger Bioniker vor allem entscheidend, so schnell wie möglich über Apparate zu verfügen, mit denen man durch einfache Lösungen die Potenziale der neuen Wissenschaft demonstrieren könne. Als anerkannte Erzeugnisse der Bionik sollten diese ‚gadgets‘ ein hohes Maß an Akzeptanz und Unterstützung generieren.<sup>16</sup>

### III *Lively Artifacts*

Bekanntermaßen existierte um 1960 bereits eine interdisziplinäre und mit universalistischem Selbstbewusstsein auftretende Wissenschaft, die sich seit ihrer Inauguration auf den *Macy-Konferenzen* gut zehn Jahre zuvor darauf verstanden hatte, mit lebendig erscheinenden Automaten ein hohes Maß an öffentlicher Aufmerksamkeit zu erzeugen: die Kybernetik.<sup>17</sup> Die erste Generation amerikanischer und britischer Kybernetiker hatte sich vor allem durch die Konstruktion elektronischer Maschinenmodelle hervorgetan, welche bereits durch ihre Namensgebung die Nachahmung lebender Prototypen suggerierten: Nobert Wieners *Motte*, Ross Ashbys *Homeostat* oder Grey Walters *Schildkröten* waren nur die prominentesten Vertreter einer neuen Klasse von Maschinen, die als materielle Referenten abstrakte dynamische Konzepte wie negative Rückkopplung, Homöostase oder

18 / Dass diese Maschinenmodelle erfolgreich eingesetzt wurden, um als visuelle Argumente kybernetische Denkfikturen zu veranschaulichen, zeigt sich nicht zuletzt in ihrem Nachleben in der Sekundärliteratur zur Geschichte der Kybernetik, zum Beispiel in: Andrew Pickering: *The Cybernetic Brain: Sketches of Another Future*, Chicago 2010.

19 / Michael Hagner: „Bilder der Kybernetik: Diagramm und Anthropologie, Schaltung und Nervensystem“, in: Martina Heßler (Hg.), *Konstruierte Sichtbarkeiten. Wissenschafts- und Technikbilder seit der Frühen Neuzeit*, München 2006, S. 383–405, hier S. 385.

20 / Andrew Pickering: *Kybernetik und Neue Ontologien*, Berlin 2007, S. 146.

21 / Ingeborg Reichle / Steffen Siegel / Achim Spelten: „Die Wirklichkeit visueller Modelle“, in: dies. (Hg.), *Visuelle Modelle*, München 2008, S. 9–16.

22 / Mit der Unterscheidung zwischen *lebenden* Modellen („Modell“ ist hier gemeint im Sinn von Vorbild oder Muster) und *lebhaften* Artefakten hat Warren S. McCulloch das epistemische Eigenleben der kybernetischen Maschinenmodelle treffend hervorgehoben: „Living Models for Lively Artifacts“, in: David L. Arm (Hg.), *Science in the Sixties. The Tenth Anniversary AFOSR Scientific Seminar*, Albuquerque 1965, S. 73–83.

23 / Albert Müller: „A Brief History of the BCL. Heinz von Foerster and the Bio-

Selbstorganisation verkörpern sollten.“<sup>18</sup> Dabei war es gerade diese Konzentration auf biologische Relationsverhältnisse und Prozesse, gepaart mit einem „gezielten Desinteresse an morphologischer Struktur und Form“, welche die Behauptung des angestrebten Repräsentationsverhältnisses zwischen technischem und natürlichem System überhaupt erst ermöglichte.<sup>19</sup> Ein weiterer wesentlicher Aspekt dieser Apparate war, dass an ihnen die in der Natur vermuteten Phänomene *anschaulich* wurden. Selbst der naive Betrachter konnte „sehen, wie es funktioniert, und es so begreifen.“<sup>20</sup> Neben eine unbestimmte und letztlich unergründliche Natur traten die kybernetischen Apparate als „visuelle Modelle“ und etablierten ihre eigene transparente und nachvollziehbare Modellwirklichkeit,<sup>21</sup> ohne jedoch den Anspruch aufzugeben, etwas über die Welt auszusagen. Die Kybernetik, so kann man vielmehr festhalten, lenkte den Blick von den lebenden Organismen auf „lebhaft Artefakte“.<sup>22</sup>

Als Teilnehmer der Macy-Konferenzen und Herausgeber der Tagungsprotokolle hatte der österreichische Physiker Heinz von Foerster diesen ambipolaren Zugang einer Abstrahierung vom Konkreten bei gleichzeitiger Zuständigkeit für biologische Organisations- und Funktionsprinzipien tief verinnerlicht. Als er im Jahr 1958 nach achtjähriger Tätigkeit am *Department of Electrical Engineering* der University of Illinois an gleicher Stelle sein Biological Computer Laboratory gründete, schuf er ein interdisziplinäres Umfeld für Natur- und Geisteswissenschaftler, die in ihrer Arbeit von jungen Studenten der Elektrotechnik des Instituts unterstützt wurden.<sup>23</sup> In den Notizen zu einem seiner zahlreichen programmatischen Vorträge aus jener Zeit brachte von Foerster die kybernetische Methode folgendermaßen auf den Punkt: „Mein Kriterium für Verstehen: prinzipiell in der Lage sein, ein System zu konstruieren, welches die Dinge tun kann, von denen wir glauben sie verstanden zu haben.“<sup>24</sup> Bei diesen Dingen, die man am BCL mit Hilfe von Lötkolben und Schraubendrehern

logical Computer Laboratory“, in: ders. / Karl Müller (Hg.), *An Unfinished Revolution? Heinz von Foerster and the Biological Computer Laboratory BCL 1958–1976*, Wien 2007, S. 279–302.

24 / Heinz von Foerster: *Sensation, Perception and Cognition in Biological and Man-made Systems*, Heinz von Foerster Archiv der Universität Wien, D0933/3/ Vorträge 1960–1961/37.

25 / Peter Asaro: „Heinz von Foerster and the Bio-Computing Movements“, in: Müller / Müller (Hg.), *Unfinished Revolution*, S. 255–275.

26 / Albert Müller, *History of the BCL*, S. 300.

27 / „There is nothing new in biomimesis. It is so important in avoiding enemies and catching prey that it is determined in the genes of many insects: the walking stick, the velvet ant, and so on. It has been of enormous importance; it has given us the images of our gods and the costumes of our witch doctors. It has given us, since the wings of Daedalus, all sorts of transportation. We have mimicked and mimicked. There are a few things of which we can boast, like the wheel and the seeking of power from indirect sources [...]. But aside from sources of power, and from the wheel, most of what we have done has been an imitation.“ Warren S. McCulloch: „The Imitation of One Form of Life by Another – Biomimesis“, in: Eugene E. Bernard / Morley R. Kare (Hg.),

„verstehen“ wollte, handelte es sich – ganz der kybernetischen Episteme verpflichtet – um biologische Objekte, die sich als informationsverarbeitende Systeme beschreiben ließen. So sollten vor allem das zeitgenössische neurophysiologische Wissen über das Gehirn und die Sinnesorgane von Wirbeltieren am BCL dazu verwendet werden, mit parallel operierenden Rechenmaschinen und mustererkennenden Automaten zu experimentieren.<sup>25</sup> Es überrascht kaum, dass die WADD in von Foersterns neu gegründetem kybernetischen Labor einen engagierten Mitstreiter für ihre Bionik-Initiative fand. So wurde die US Airforce neben dem *Office of Naval Research* der US Navy zu einem der beiden wichtigsten Drittmittelgeber des BCL.<sup>26</sup> Umgekehrt bot die ‚neue‘ Wissenschaft Kybernetikern wie Heinz von Foerster und dem Neurophysiologen Warren McCulloch die Gelegenheit, sich der Daseinsberechtigung ihrer eigenen Disziplin durch die Einordnung in einen umfassenderen und mit deutlicherem Anwendungsbezug ausgestatten Forschungsauftrag zu versichern. So erklärte McCulloch die Bionik zur übergeordneten Leitdisziplin, die sich im Unterschied zur Kybernetik nicht nur darauf spezialisiere, Regulations- und Rückkopplungsprinzipien in ihren Maschinen nachzuahmen. Bionik befasse sich mit „allen Tricks der Natur, welche diese einsetzt um ihre Probleme zu lösen, sodass wir sie in Hardware umsetzen können“. Vielmehr müsse man die ingenieurwissenschaftliche Nachahmung der Natur im „allgemeinen Feld der Biomimesis“ verorten und in ihr „das alte Prinzip der Imitation einer Lebensform durch eine andere“ am Werke sehen. Für McCulloch, so scheint es, war technische Nachahmung nur Ausdruck einer allgemeinen Naturrelation, nach der alle Lebewesen von jeher Prototypen füreinander sein können.<sup>27</sup>

Im Unterschied zu seinem Förderer Warren McCulloch dachte Heinz von Foerster weniger über die theoretische Bedeutung der Bionik nach



*Biological Prototypes and Synthetic Systems*, Bd. 1: *Proceedings of the Second Annual Bionics Symposium*, New York 1962, S. 393–397, hier S. 393.

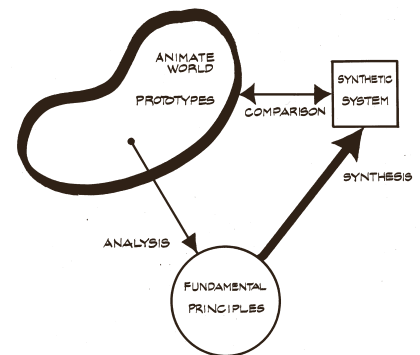
28 / Heinz von Foerster: „Bionics“, Robbinette, Bionics Symposium, S. 3.

29 / Heinz von Foerster: „Bionics Principles: A Summary“, in: R. A. Williaume (Hg.), *AGARD Bionics Lecture Series XX*, Bd. 1, Paris 1965, S. 1–11, hier S. 2. Die AGARD war eine Vorläuferorganisation der *NATO-Research and Technology Organisation* und sollte den Informationsaustausch in Bezug auf Luft- und Raumfahrtforschung zwischen den NATO-Staaten verbessern. Vgl. Jan van der Blick (Hg.): *AGARD. The History 1952–1997*, Neuilly-sur-Seine 1999.

30 / von Foerster, *Bionics Principles*, S. 3.

als über ihre praktische Umsetzung in seinem Labor. Er verstand den biomimetischen Ansatz als eine Einladung, nicht bei der Analyse einzelner Funktionen stehenzubleiben, sondern nach der „universalen Bedeutung dieser Funktionen in lebenden oder künstlichen Organismen zu suchen“.<sup>28</sup> Als von Foerster

die Bionik im Auftrag der *NATO-Advisory Group for Aerospace Research and Development* (AGARD) auf einem Kongress im Karl-Arnold-Haus der Wissenschaften in Düsseldorf im Jahr 1965 präsentierte, hob er ausdrücklich hervor, dass die technische Synthetisierung organischer Funktionen dabei helfen könne, zu „operationalen Definitionen“ komplexer biologischer Phänomene wie Adaptation, Evolution oder Selbstorganisation zu gelangen.<sup>29</sup> In einer für die Kybernetik charakteristischen zirkulären Gedankenoperation koppelte von Foerster also den Output der Bionik (Konstruktion des ‚synthetic system‘) zurück mit dem Input (Analyse der ‚prototypes‘) und integrierte den bionischen Auftrag der Naturnachahmung in einen epistemischen Regelkreis.<sup>4</sup> Die Analyse des biologischen Organismus erlaubte demnach die Formulierung von Prinzipien, die bei der Synthese von künstlichen Systemen auf technischer Ebene fixiert werden können. In einem Abgleich von technischem Apparat und organischem System sollte sich schließlich die eigentliche Bedeutung einzelner Organisationsprinzipien offenbaren, um wiederum die biologische Analyse zu erweitern.<sup>30</sup> Dieser Kurzschluss von Anwendung und Erkenntnis wies der technischen Synthese ihren Platz als epistemisch produktiver



31 / Die *NumaRete* wurde in zahlreichen populärwissenschaftlichen Publikationen der sechziger Jahre zum Thema Bionik besprochen und hatte sogar einen kurzen Auftritt in den *CBS Evening News* bei 'America's Most Trusted Man' Walter Cronkite. Vgl. auch Daniel S. Halacy: *Bionics. The Science of 'Living' Machines*, New York 1965, S. 75–81 und Vincent Marteka: *Bionics*, Philadelphia / New York 1965, S. 100–106.

32 / Jerome Lettvin / Warren McCulloch / Warren Pitts / Humberto Maturana: „What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain“, in: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 47 (1959), S. 1940–1951.

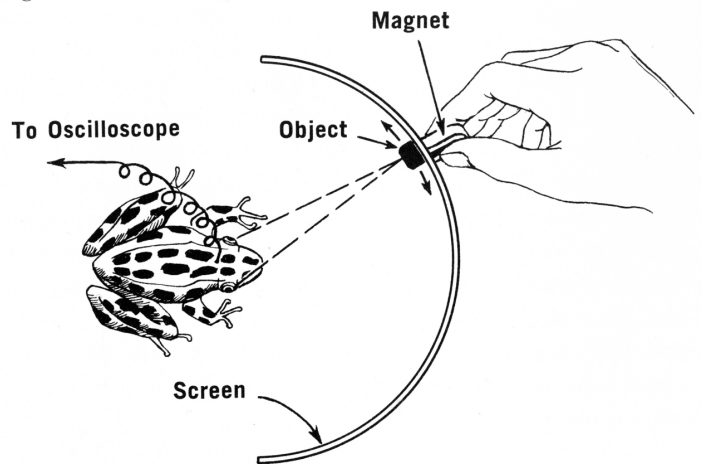
Prozess innerhalb der Bionik zu. Statt eines unidirektionalen Wissenstransfers von der Natur zur Technik entwarf er das Bild einer zirkulär vorgehenden Wissenschaft der Approximation und Improvisation.

#### IV *Living Prototypes*

Die durch von Foerster kybernetisch ausformulierte Methode der Bionik wurde in der Forschungspraxis am BCL anhand einer ganzen Galerie von Maschinenmodellen durchexerziert. Die größte öffentliche Aufmerksamkeit wurde dabei einer künstlichen Wahrnehmungsmaschine zuteil, die das Prinzip der Mustererkennung reproduzieren und veranschaulichen sollte: der *NumaRete*.<sup>31</sup> Ausgangspunkt für deren Bauplan waren die neurophysiologischen Arbeiten der Biologen Humberto Maturana und Jerome Lettvin, die in den späten 1950er Jahren in einem einflussreichen Aufsatz die These vertraten, dass bei Wirbeltieren bereits in der Netzhaut des Auges eine Vorinterpretation bzw. Computation der visuellen Reize stattdessen und nicht erst im Gehirn.<sup>32</sup>

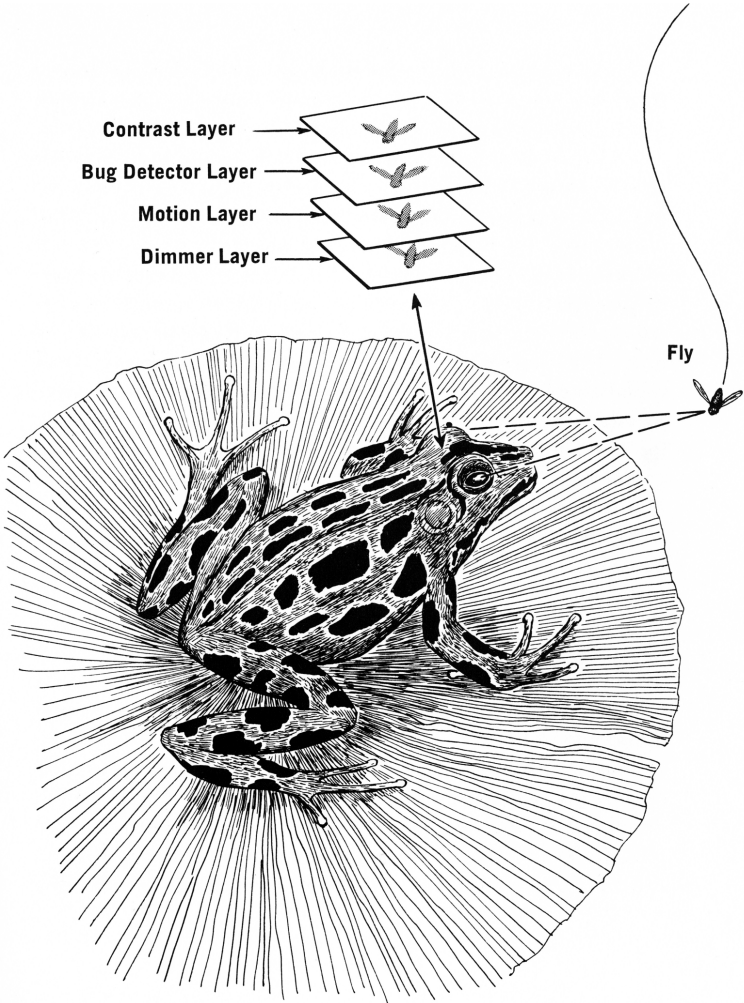
Der lebende Prototyp, der bei den Experimenten am *Research Laboratory of Electronics* (RLE) des MIT zum Einsatz kam, war ein Exemplar der Froschart *rana pipiens*. Die auch als *Leopardfrosch* bekannte Amphibie wurde in einer aufwendigen technischen Anordnung vor einer Aluminiumhalbkugel positioniert, auf der die Experimentatoren mit Hilfe von Magneten verschiedene Umweltreize simulieren konnten.<sup>5</sup> Kleine schwarze Metallplättchen, die sich ruckartig durch das Sichtfeld des Frosches bewegten, sollten dem Tier zum Beispiel die Anwesenheit von Fliegen vortäuschen. Durch Mikroelektroden, die in einzelne Nervenfasern des Sehnervs unmittelbar hinter dem Auge und kurz vor dem Mittelhirn eingeführt worden waren, konnten nun mit einem Voltmeter die Aktionspotentiale gemessen werden, die von der Retina zum Gehirn 'gesendet' wurden. So war

*Figure IV-2. A leopard frog gazes at a curved screen. An object on the screen is controlled by a research worker operating a magnet behind the scene.*



es möglich, auf einem Oszillographen abzulesen, welche Nervenfasern im Sehnerv auf die verschiedenen Reize reagierten und wo die Signale im Mittelhirn ankamen. Zu ihrer Überraschung stellten die Biologen dabei fest, dass vier verschiedene Gruppen von Nervenfasern existierten, die auf jeweils unterschiedliche Reize reagierten (Kontrast, Konvexität, bewegliche Ränder und Verdunkelung) und ihre Informationen auf vier entsprechenden Ebenen im Mittelhirn abliefern.<sup>6</sup> Die geleistete Vorinterpretation der visuellen Reize dieser vier „Detektoren“ vermuteten die vier Autoren in der komplizierten Anordnung jener Interneuronen in der Netzhaut, welche zwischen den Stäbchen und Zapfen und den Ganglienzellen des Sehnervs vermitteln.<sup>7</sup>

6 Vier ‚Ebenen‘ im Mittelhirn des Leopardfroschs



33 / Halden Keffer Hartline: „Inhibition of activity of visual receptors by illuminating nearby retinal areas in the limulus eye“, in: *Federation Proceedings* 8/1 (1949), S. 69.

34 / Warren McCulloch / Walter Pitts: „Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity“, in: Claus Pias (Hg.), *The Macy-Conferences*, Bd.2, Berlin 2004, S. 313–332.

Am BCL erkannte man hinter dieser offenbar intelligenten Leistung der Retina das von dem amerikanischen Biologen Halden Keffer Hartline beschriebene Prinzip der *lateralen Inhibition*.<sup>33</sup> Erhält ein Neuron ein stärkeres Signal als seine Nachbarzellen, werden letztere durch laterale Verschaltung gehemmt, um den vorhandenen Kontrast zu verstärken. Mit Hilfe der von Warren McCulloch und Walter Pitts ausgearbeiteten Terminologie zur Formalisierung neuronaler Prozesse<sup>34</sup> ließ sich dieses Prinzip als logische Schaltung model-

lieren:<sup>8</sup> Eine Reihe einfacher *McCulloch-Pitts-Zellen* (L<sub>2</sub>) wird mit einer darüber liegenden Reihe lichtempfindlicher ‚Sensoren‘ (L<sub>1</sub>) so verschaltet, dass jeder dem Licht ausgesetzte Sensor das unter ihm liegende Neuron mit zwei Nervenfasern erregt und dessen zwei Nachbarneuronen mit je einer Nervenfaser hemmt. Ist die gesamte Oberfläche der ‚Retina‘ dem Licht ausgesetzt, heben sich die exzitatorischen und die inhibitorischen Reize auf und alle Neuronen haben den Zustand 0. Wird nun aber eine Gruppe von zusammenhängenden Sensoren durch ein Objekt verdunkelt, wechseln alle Neuronen, die sich genau neben der Grenze von Licht und Schatten befinden, in den Zustand 1. In einem solchen eindimensionalen Retinamodell lässt sich nun die Anzahl der Objekte über der Oberfläche ermitteln, indem man die Quersumme aller Ausgangssignale bildet und durch zwei teilt: „Hast du N Objekte, so hast du N Schatten mit je zwei

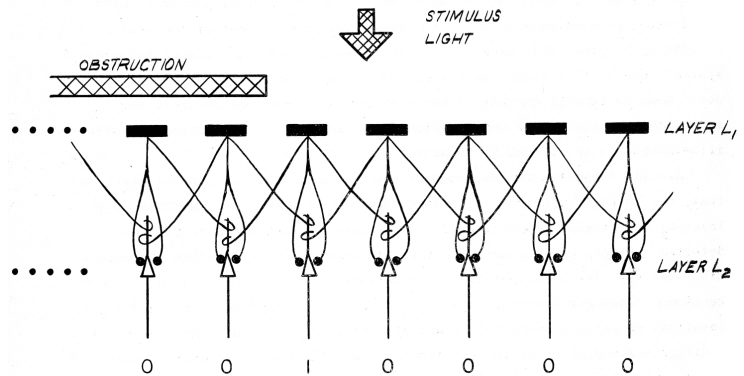


## 8 Schematisiertes Modell der Froschretina

35 / Heinz von Foerster / Ernst von Glasersfeld: *Wie wir uns erfinden. Eine Autobiographie des radikalen Konstruktivismus*, Heidelberg 2004, S. 113.

36 / Paul Weston: „Photocell Fields Counts Random Objects“, in: *Electronics* 34/38 (1961), S. 46-47.

37 / von Foerster/von Glasersfeld, *Konstruktivismus*, S. 109.



Rändern, daher ist der Gesamtoutput dieses Netzes das Zweifache der Anzahl der beschattenden Objekte.“<sup>35</sup>

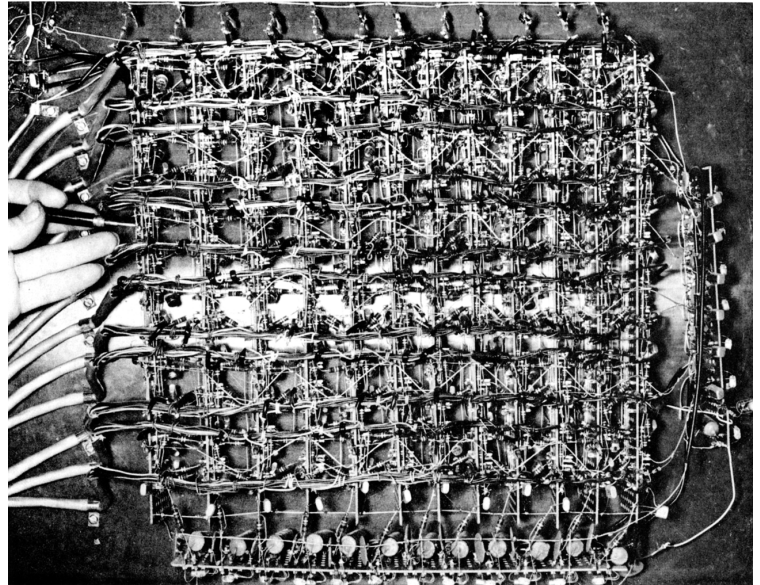
Der junge BCL-Ingenieur Paul Weston bekam von Heinz von Foerster schließlich den Auftrag zur Konstruktion einer Maschine, welche das Fundamentalprinzip der Umfeldhemmung nachahmen und, mit ähnlicher Geschwindigkeit wie der Frosch im Experiment, Muster aus ihrer Umgebung abstrahieren sollte. Weston folgte diesem Auftrag, indem er in seiner *NumaRete* 400 Fotozellen in einem Quadrat von  $20 \times 20$  Zellen anordnete und sie mit korrespondierenden Recheneinheiten auf einer darunterliegenden Ebene verband. Legte man eine beliebige Anzahl von Objekten auf die künstliche Retina des Analogrechners und verdeckte damit eine Gruppe von Fotozellen, schaltete das System in einen Zustand, welcher der Anzahl der Objekte entsprach. Durch eine Addition der Strömungsunterschiede wurde diese Anzahl numerisch ausgelesen und mittels einer Digitalanzeige ausgegeben.<sup>9, 36</sup> Die *NumaRete* zählte demzufolge die auf ihr platzierten Objekte nicht Stück für Stück ab, sondern vollzog in ihrem simplen Aufbau konfigurationell das, was Heinz von Foerster als das „Sehen einer N-heit“ bezeichnete.<sup>10, 37</sup> Man





muss also festhalten, dass es sich bei dem bionischen Produkt *NumaRete* um das Ergebnis einer ganzen Reihe abstrahierender Verfahren und epistemischer Prozesse handelte. Nachahmung der Natur stellt sich hier als eine Kaskade unterschiedlicher aufeinanderfolgender Repräsentations- und Medientechniken dar. Zwischen Frosch und Maschine standen gewissermaßen Mikroelektroden, Voltmeter und Oszillograph, zwei Experimentatoren, ein wissenschaftlicher Artikel, ein Kybernetiker, das Modell einer neuronalen Schaltung und schließlich ein Ingenieur, der aus diesem diffusen epistemischen Set eine Maschine zusammenbauen musste, die all dies in ihrem logischen Aufbau verkörpern sollte. Tatsächlich war die *NumaRete* weit davon entfernt, ein neuronales Netzwerk zu sein oder sogar ein solches zu modellieren. Auch wenn jeder

38 / Paul Weston: „A Walk Through the Forest“, in: Müller / Müller (Hg.), *Unfinished Revolution*, S. 89–115, hier S. 96.



Rechenschritt für sich eine parallele Operation war, so arbeitete die *NumaRete* tatsächlich seriell, d.h. die Fotozellen wurden Reihe für Reihe nacheinander eingeschaltet. Zudem handelte es sich bei ihr nicht um ein dynamisches System: Das Gerät musste immer wieder neu gestartet werden, wenn man die Anzahl und Position der Objekte veränderte. Wenn überhaupt, so bilanziert selbst Paul Weston fast fünfzig Jahre später nüchtern, suggerierte seine Maschine durch die Anordnung identischer Rechenzellen das Erscheinungsbild eines neuronalen Netzwerkes. Heute sieht Weston in seiner Maschine vielmehr „ein Beispiel für die allgemeine Regel, dass Technik Aspekte biologischer Performanz duplizieren kann, aber fast niemals, indem sie die exakt korrespondierenden Mechanismen verwendet“.<sup>38</sup> An anderer Stelle bemerkt der Ingenieur, dass er seine eigene Ma-

39 / Jan Müggenburg / James A. Hutchinson: „Kybernetik in Urbana. Ein Gespräch mit Paul Weston“, in: Albert Mueller (Hg.), *Geschichte der Kybernetik*, Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaft 19/4 (2008), S. 126–139.

40 / Brief von Jack E. Steele an Heinz von Foerster, 17.10.1963, University of Illinois Archives, 11/6/17, B8/17/001.

41 / Brief von Jack E. Steele an Heinz von Foerster, undatiert, University of Illinois Archives, 11/6/17, B8/17/002.

42 / Gustav Lilienthals Technikphilosophie hat ihren Ursprung im Werk des deutschen Botanikers Raoul Francé, der in den zwanziger Jahren in zahlreichen Publikationen den Begriff der ‚Biotechnik‘ entwickelt hat. So etwa in: *Die Pflanze als Erfinder*, Stuttgart 1920. Vgl. auch R. R. Roth, „The Foundations of Bionics“, in: *Perspectives in Biology and Medicine* 26/2 (1983), S. 229–242. Den Hinweis auf die Vorgeschichte der Bionik verdanke ich Thomas Brandstetter.

schine im Rückblick eher als eine *Rube-Goldberg-Maschine* beschreiben würde, als eine ‚Was-passiert-dann-Maschine‘, die durch eine absurd komplizierte Konstruktion den gewünschten Effekt erzielte und auf den naiven Betrachter allenfalls intelligent *wirkte*.<sup>39</sup>

#### v Ein Nachspiel

Am 17. Oktober 1963 schrieb Jack Steele in seinem Büro in der *Wright Patterson Air Force Base* auf seiner Schreibmaschine einen Brief an seinen langjährigen Freund Heinz von Foerster. Steele wettete eine Zigarre, dass der Leiter des BCL im nur wenige Autostunden entfernten Urbana-Champaign den Autor folgender auf deutsch verfasster Zeilen nicht erraten könne, auf die er zufällig gestoßen war:

„Schon bei oberflächlicher Betrachtung zeigt sich eine überraschende Ähnlichkeit zwischen den technischen Vorrichtungen in der Natur und den Antworten, die der menschliche Erfindungsgeist auf die gleichen Aufgaben unseres praktischen Lebens gibt. Denn für jede Funktion gibt es nur eine Form, die ihr allein zukommt, weil sie die Funktion am besten erfüllt. Das verstehen wir unter ‚optimaler‘ Funktionsform oder kurz: unter ‚technischer Form‘. Menschliche und natürliche Technik sind daher in ihren besten Leistungen zwangsläufig gleich.“<sup>40</sup>

Nachdem er gleich eine ganze Zigarrenkiste als Antwort erhielt, schrieb der Colonel einen zweiten Brief, in dem er das Rätsel auflöste: „Das Zitat stammt aus *Die Biotechnik des Fliegens* von Gustav Lilienthal, veröffentlicht in Leipzig im Jahr 1925.“<sup>41</sup> Steele war offenbar überrascht, in den diskursiven Untiefen deutscher Wissenschaftsgeschichte die vermeintliche Quintessenz seiner Bionik wiederzufinden.<sup>42</sup> Tatsächlich sah er sich durch Gustav Lilienthals technikphilosophische Verallgemeinerung der Gleitflugapparate seines Bruders Otto in seiner eigenen Überzeugung bestärkt, dass sich die optimalen Lösungen für Probleme, mit der sich sein

43 / Brief von Jack E. Steele an Heinz von Foerster, undatiert, University of Illinois Archives, 11/6/17, B8/17/002.

Arbeitgeber aktuell konfrontiert sah, in der Natur finden ließen. So hatte Steele nach eigener Auskunft erst einige Monate zuvor, auf einer Konferenz der Vorführung einer neuartigen Turbine für den Einsatz im Windkanal beigewohnt. Dabei erschienen ihm die angeblich innovativ geformten Blätter des Propellers als unbewusste Annäherung an die Flügel eines Vogels: „60 Jahre ingenieurwissenschaftliche Forschung“, so Steele, „haben der ursprünglichen Form nur geringfügige Verbesserungen hinzugefügt, die jeder, der nur tollkühn genug gewesen wäre es zu versuchen, direkt von einem Vogel hätte kopieren können.“<sup>43</sup>

Es scheint bloß folgerichtig, dass die Bionik erst drei Jahre nach ihrer Gründung in einer Art Treppenwitz über ihre eigenen diskursiven Wurzeln stolpert. Denn die biotechnische Rede von der „optimalen Funktionsform“ geht im Zuge der kybernetischen Aktualisierung der Nachahmungsthese nurmehr ins Leere. Gerade das Aufbrechen der festen Bindung von Form und Funktion und die Hinwendung zu operationalen Organisationsprinzipien macht die epistemische Produktivität der Bionik seit 1960 aus. Dem Wunsch nach einem unmittelbaren Zugriff auf die Funktionsprinzipien der Natur steht dabei aber eine bewusste Abkehr von den Konkretheiten der Welt immer schon gegenüber. In der Praxis arbeitet der Bioniker in jenem ungewissen Bereich zwischen biologischem Wissen und technischer Implementierung, dessen klare Grenzen durch das Repertoire seines elektrotechnischen Werkzeugkastens immer schon vorgegeben sind. Über den Erfolg bionischer Forschungsleistungen, d.h. über die Plausibilität des behaupteten analogen Verhältnisses zwischen der Performanz des Prototypen und der des Artefakts, entscheiden in letzter Konsequenz indes allein die Funktionalität der Maschine selbst und der Betrachter bzw. die wissenschaftliche Öffentlichkeit. Bionik bleibt technische und diskursive Verhandlungssache.